



**SEMINAR NASIONAL
MESIN DAN INDUSTRI
(SNMI) 5 - 2009**

**Auditorium Gedung Utama
Universitas Tarumanagara
Jakarta, 08 Oktober 2009**

**RISET APLIKATIF
BIDANG TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI**

**Diselenggarakan oleh:
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Tarumanagara**

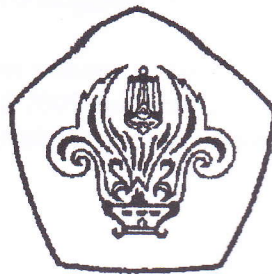


**PROSIDING
SEMINAR NASIONAL MESIN DAN INDUSTRI
(SNMI) 5 - 2009**

ISBN : 978-979-95752-9-6

**RISET APLIKATIF
BIDANG TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI**

**Auditorium Gedung Utama Lantai 3
Kampus I
Universitas Tarumanagara
Jakarta, 08 Oktober 2009**



**Diselenggarakan oleh:
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Tarumanagara
Jl. Let. Jend. S. Parman No. 1 Jakarta
Telp. (021) 5672548, 5638358, 5663124 Fax. (021) 5663277
e-mail: mesin@tarumanagara.ac.id**

EVALUASI LEVEL KEANDALAN SEBAGAI DASAR OPTIMASI KEANDALAN MESIN

Zuliantoni

Teknik Mesin-Fakultas Teknik-Universitas Bengkulu
Jl. Raya Kandang limun, Gedung V UNIB
e-mail : zulian_75@yahoo.co.id

Abstrak

Pemeriksaan atau inspeksi pada Mesin dilakukan berdasarkan schedule harian yang telah ditentukan. Data downtime mesin dikonversi menjadi data waktu antar kegagalan. Langkah selanjutnya dilakukan pengujian distribusi untuk mendapatkan distribusi yang paling sesuai untuk data waktu antar kegagalan tersebut. Berdasarkan parameter-parameter distribusi yang diperoleh, fungsi keandalan masing-masing mesin dapat ditentukan, sehingga nilai keandalan masing-masing mesin dan sistem secara keseluruhan untuk suatu periode waktu operasi tertentu dapat dihitung. Biaya peningkatan keandalan sistem dapat diformulasikan sebagai program nonlinier dengan fungsi tujuan untuk meminimalkan total biaya sistem. Biaya peningkatan keandalan mesin dimodelkan sebagai suatu fungsi eksponensial dari keandalan aktual, target keandalan yang ingin dicapai, dan indeks kelayakan peningkatan keandalan. Analisa mengenai Probabilitas Kegagalan atau Tingkat Keandalan dari mesin-mesin tersebut digunakan sebagai parameter untuk memperkirakan kapan suatu komponen mesin akan mengalami kerusakan kembali. Hasil analisa data berupa MTBF, Failure Rate, MTTR, Reliability, Maintainability dan Availability digunakan untuk menentukan kondisi mesin dan sistem pada saat Useful Life Time.

Kata kunci: *downtime, failure rate, optimasi, perawatan*

PENDAHULUAN

Permasalahan perawatan dan keandalan dari mesin-mesin produksi seringkali bersumber pada penjadwalan dan prediksi perbaikan dari mesin-mesin itu sendiri. Sejauh ini tahapan perawatan seringkali dilakukan secara manual dimana setiap data perawatan yang telah dilakukan, disusun dalam suatu bentuk pencatatan atau data record. Kecepatan dan ketepatan dalam menganalisa terjadinya kerusakan seringkali menjadi suatu permasalahan tersendiri. Banyak waktu dan tenaga yang terbuang dengan percuma akibat pekerjaan tambahan tersebut.

Kegiatan perawatan dilakukan berdasarkan rekomendasi dari pabrikan pembuat peralatan produksi atau berdasarkan pengalaman dari orang-orang yang bertanggung jawab dalam melaksanakan kegiatan pemeliharaan, tidak berdasarkan kondisi operasi sesungguhnya dari komponen atau peralatan tersebut dalam proses produksi. Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah; menentukan mesin-mesin penyebab kegagalan utama pada mesin, menentukan distribusi waktu antar kegagalan mesin-mesin penyebab kegagalan utama, menentukan keandalan masing-masing mesin, menentukan laju kegagalan masing-masing mesin, menentukan rata-rata waktu antar kegagalan masing-masing mesin, melakukan optimasi biaya minimal untuk mengalokasikan keandalan pada masing-masing mesin, menentukan strategi perawatan (*preventive maintenance*) masing-masing mesin berdasarkan alokasi keandalan yang telah didapatkan.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Fungsi Keandalan

Keandalan dari suatu komponen, subsistem, atau sistem adalah probabilitas untuk tidak mengalami kegagalan atau dapat melaksanakan fungsinya selama periode waktu t atau lebih. Fungsi keandalan terhadap waktu dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (2.1)$$

Dimana; $f(t)$ = fungsi padat peluang (*pdf*), $R(t)$ = keandalan (*reliability*),
 $F(t)$ = probabilitas kegagalan

1.1. Laju Kegagalan

Laju kegagalan (λ) adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen, subsistem, atau sistem. Laju kegagalan dinyatakan sebagai berikut:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.3)$$

Dimana; f = banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi, T = total waktu operasi

1.2. Mean Time Between Failure (MTBF)

MTBF adalah waktu rata-rata antar kegagalan atau rata-rata waktu beroperasinya komponen, subsistem, atau sistem tanpa mengalami kegagalan. MTBF diperoleh dari hasil bagi antara total waktu operasi dengan jumlah kegagalan dalam periode waktu operasi tersebut.

$$MTBF = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.4)$$

1.3. Pemodelan Keandalan sistem

a. Susunan Seri

Sistem seri dapat melaksanakan fungsinya atau beroperasi jika semua komponen dalam sistem tersebut beroperasi. Jika salah satu komponen mengalami kegagalan, maka secara keseluruhan sistem mengalami kegagalan. Sistem seri dapat digambarkan sebagai berikut:



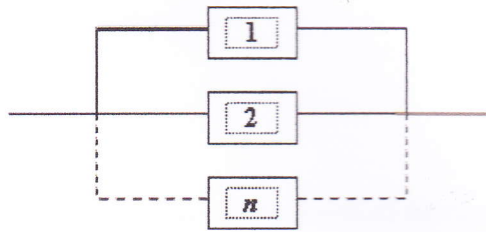
Gambar 2.1. Model keandalan Sistem Seri

Jika keandalan masing-masing komponen adalah $R_1, R_2, R_3 \dots R_n$, maka keandalan sistem seri adalah:

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i \quad (2.5)$$

b. Susunan Paralel

Sistem paralel dapat melaksanakan fungsinya jika minimal satu komponen dari penyusunnya beroperasi. Sistem paralel gagal bila seluruh komponen penyusunnya gagal. Sistem paralel dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.2. Model keandalan Sistem Paralel

Jika keandalan masing-masing komponen adalah $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$, maka keandalan sistem paralel adalah:

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (2.6)$$

2. Distribusi Data Data Waktu Antar Kegagalan

2.1. Distribusi Eksponensial

Fungsi padat peluang (*probability density function*) distribusi Eksponensial adalah:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda(t-\gamma)}, \quad t > 0, \lambda > 0, t \geq \gamma \quad (2.7)$$

Dimana:

λ = Laju Kegagalan (*failure rate*), γ = Parameter lokasi (*location parameter*)

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu komponen, subsistem, atau sistem mengikuti distribusi Eksponensial, maka:

a. Fungsi keandalan distribusi Eksponensial adalah:

$$R(t) = e^{-\lambda(t-\gamma)} \quad (2.8)$$

b. Laju kegagalan distribusi Eksponensial adalah : λ

$$(2.9)$$

c. MTBF = $1/\lambda$

$$(2.10)$$

2.2. Distribusi Weibull

Fungsi padat peluang (*probability density function*) distribusi Weibull adalah:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (2.11)$$

Dimana:

η = parameter skala (*scale parameter*), $\eta > 0$

β = parameter bentuk (*shape parameter*), $\beta > 0$

γ = parameter lokasi (*location parameter*)

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu komponen, subsistem, atau sistem mengikuti distribusi Weibull, maka:

a. Fungsi keandalan distribusi Weibull adalah:

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (2.12)$$

b. Laju kegagalan distribusi Weibull adalah:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (2.13)$$

$$c. \text{ MTBF} = \gamma + \eta \Gamma(1/\beta + 1) \quad (2.14)$$

2.3. Distribusi Normal

Fungsi padat peluang (*probability density function*) distribusi Normal adalah:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.15)$$

Dimana:

μ = rata-rata (mean),

σ = deviasi standart

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu komponen, subsistem, atau sistem mengikuti distribusi Normal, maka:

a. Fungsi keandalan distribusi Normal adalah:

$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.16)$$

b. Laju kegagalan distribusi Normal adalah:

$$\lambda(t) = \frac{\exp \left[-(t - \mu)^2 / 2\sigma^2 \right]}{\int_t^{\infty} \exp \left[-(t - \mu)^2 / 2\sigma^2 \right] dt} \quad (2.17)$$

$$c. \text{ MTBF} = \mu \quad (2.18)$$

2.4. Distribusi Lognormal

$$f(t) = \frac{1}{t.s\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - t_o}{s} \right)^2 \right] \quad (2.19)$$

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu komponen, subsistem, atau sistem mengikuti distribusi Lognormal, maka:

a. Fungsi keandalan distribusi Eksponensial adalah:

$$R(t) = 1 - \phi \left[\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_o} \right] \quad (2.20)$$

b. Failure rate secara umum:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.21)$$

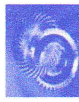
$$c. \text{ MTBF} = \exp(t_o + (0,5 \times s^2)) \quad (2.22)$$

3. Pengujian Distribusi

Pada data waktu antar kegagalan dari komponen, subsistem, atau sistem harus dilakukan uji distribusi agar teori-teori kegagalan yang telah dijelaskan sebelumnya dapat digunakan. Metode pengujian yang dapat dilakukan antara lain:

a. Dengan memplot data waktu antar kegagalan pada kertas grafik probabilitas.

b. Menghitung koefisien variasi (s) dari data sebagai langkah awal dari uji hipotesa.



SNMI
Seminar Nasional Mesin dan Industri
2009
Universitas Tarumanagara

5

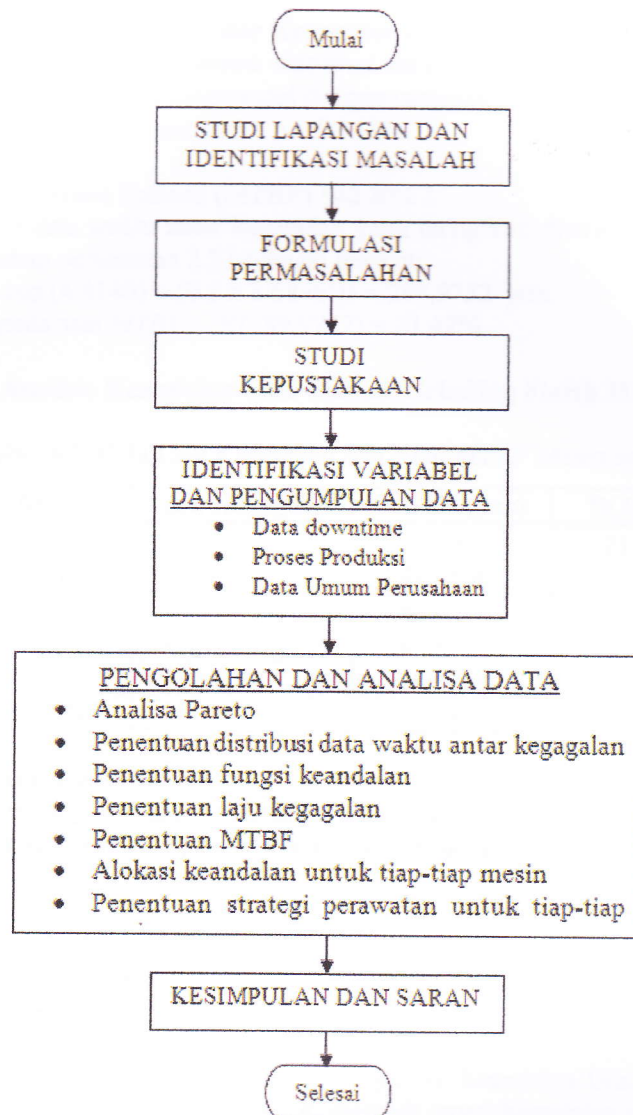
Seminar Nasional Mesin dan Industri (SNMI5) 2009

"Riset Aplikatif Bidang Teknik Mesin dan Industri"

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Metode uji *Kolmogorov-Smirnov*, yang digunakan untuk membandingkan distribusi empiris data dengan distribusi empiris tertentu yang dihipotesiskan.

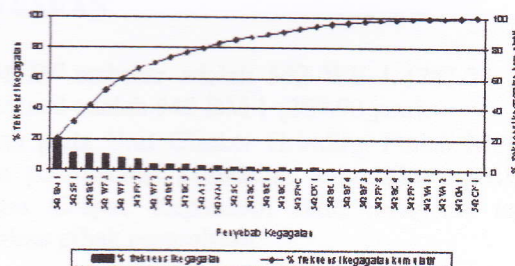
METODE PENELITIAN



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA

1. Analisa Pareto



Gambar 4.1. Diagram Pareto Frekuensi Kegagalan Unit Clinker Grinding Finish Mill # 2
2. Analisa Keandalan 542 BM 1

2.1. Uji Distribusi Data Waktu Antar Kegagalan (TBF) 542 BM 1

Dari hasil uji distribusi bahwa distribusi data waktu antar kegagalan 542 BM 1 paling sesuai dengan distribusi Lognormal dengan parameter sebagai berikut : $t_0 = 4.4140$; $s = 1.5848$; dengan koefisien korelasi $\rho = 99.39\%$.

2.2. Mean Time Between Failure (MTBF) 542 BM 1

MTBF dari data waktu antar kegagalan yang mengikuti distribusi Lognormal dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.22 sebagai berikut:

$$MTBF = \exp(4.4140 + (0.5 \times 1.5848^2)) = 289,9752 \text{ jam}$$

Nilai keandalan pada saat MTBF : $R(289,9752) = 21.42\%$.

3. Rekapitulasi Analisis Keandalan Unit Clinker Grinding Finish Mill # 2

Tabel 4.1. Pola Laju Kegagalan dan Nilai MTBF Mesin-mesin

No	Mesin	Laju Kegagalan	MTBF (jam)	R(MTBF)
1	542 BM 1	Naik	289.9752	21.42%
2	542 SR 1	Turun	417.6001	30.59%
3	542 BE 3	Naik	592.7683	22.91%
4	542 WF 3	Naik	629.3780	19.80%
5	542 WF 1	Turun	785.2347	23.83%
6	542 FN 7	Turun	709.4477	32.12%

4. Optimasi Alokasi Keandalan

Sebagai contoh, jika target keandalan sistem yang ingin dicapai $R_G = 80\%$ untuk 100 jam operasi maka formulasi program nonliniernya akan menjadi sebagai berikut:
Fungsi Obyektif:

Minimasi

$$C = e^{\left[\frac{(1-0.6)R_1 - 0.4520}{1-R_1} \right]} + e^{\left[\frac{(1-0.12)R_2 - 0.6466}{1-R_2} \right]} + e^{\left[\frac{(1-0.14)R_3 - 0.6755}{1-R_3} \right]} + e^{\left[\frac{(1-0.23)R_4 - 0.5953}{1-R_4} \right]} + e^{\left[\frac{(1-0.24)R_5 - 0.6234}{1-R_5} \right]} + e^{\left[\frac{(1-0.21)R_6 - 0.8194}{1-R_6} \right]}$$

Nilai C menunjukkan total biaya peningkatan keandalan Unit Clinker Grinding Finish Mill # 2 dari nilai keandalan aktual R_s menjadi target keandalan yang ditetapkan R_G . Nilai-nilai biaya tersebut bukan nilai nominal uang yang harus dikeluarkan tetapi merupakan nilai perbandingan biaya peningkatan keandalan antar mesin dalam unit tersebut.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

- Mesin dengan MTBF terbesar adalah 542 WF 1 (785.24 jam), sedangkan mesin dengan MTBF terkecil adalah 542 BM 1 (289.98 jam).
- Alokasi keandalan pada Unit Clinker Grinding Finish Mill # 2 dipengaruhi oleh indeks kelayakan peningkatan keandalan, keandalan aktual, dan target keandalan sistem yang ingin dicapai. Keputusan akhir mengenai target keandalan sistem merupakan kebijakan pihak perusahaan.



SNMI
Seminar Nasional Mesin dan Industri
2009
Universitas Tarumanagara

5 Seminar Nasional Mesin dan Industri (SNMI5) 2009

“Riset Aplikatif Bidang Teknik Mesin dan Industri”

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

2. Saran

- Keandalan mesin-mesin yang lain juga perlu diperhatikan, walaupun selama ini frekuensi kegagalan pada mesin-mesin tersebut relatif kecil.
- Perusahaan sebaiknya melakukan pencatatan waktu kegagalan (*downtime*) secara lebih rinci mengenai penyebab (sampai tingkat komponen), waktu untuk perbaikan, jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan, jumlah suku cadang yang dibutuhkan, dan lain-lain yang berkaitan dengan kegiatan pemeliharaan sehingga memungkinkan untuk dilaksanakan analisa keandalan yang lebih mendalam.
- Data operasi mesin-mesin seharusnya dicatat sejak mulai beroperasinya mesin tersebut, sehingga data yang diperoleh dapat menggambarkan kondisi mesin sesungguhnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Jardine, A.K.S, *Maintenance Replacement and Reliability*, Pitman Publishing London, 1973.
2. Kocecioglu, Dimitri, *Reliability Engineering Handbook*, Volume 1, PTR. Prentice Hall, 1991.
3. Kocecioglu, Dimitri, *Reliability Engineering Handbook*, Volume 2, PTR. Prentice Hall, 1991.
4. Mettas, Adamantios, *Reliability Allocation and Optimization for Complex System*, Proceeding of Annual Reliability and Maintainability Symposium, (2000).
5. O'Connor, Patrick D.T., *Practical Reliability Engineering*, 3rd Edition Revised, John Wiley & Sons Ltd. England 1991.
6. Ebeling, Charles E, *Reliability and Maintainability Engineering*, International Edition, McGraw-Hill, 1997.
7. Vassiliou, Pantelis D., *Weibull-Plus Version 3.0 User Manual*, ReliaSoft, Tucson Arizona, 1994.